

AÑO 4 - NÚMERO 11
ABRIL 2020

ESTRELLAS WOLF-RAYET



EL FUTURO DE NUESTRO SOL



INTERACCIÓN ESTELAR









IMAGEN: NGC 6888 OARP-UDG

SUMARIO

REVISTA DE DIVULGACIÓN ASTRONÓMICA

11

Sidus, revista de divulgación de astronomía y astrofísica, es una publicación semestral editada en el Instituto de Astronomía y Meteorología de la Universidad de Guadalajara, Av. Ignacio L. Vallarta 2602, Col. Arcos Vallarta, Guadalajara, Jalisco, México, C.P. 44130, Tel. 33 3615 9829, www. iam.cucei.udg.mx.

Responsable: Gerardo Ramos Larios. **Editores:** Gabriel Marcelo Rubío Gónzalez, Edgar Iván Santamaría Domínguez. **Diseño y Maquetación:** Kenia Valeria Cornejo Márquez, Edgar Iván Santamaría Domínguez.

Contacto: revistasidus@gmail.com

EXPLOSIONES SÚBITAS NOVAS

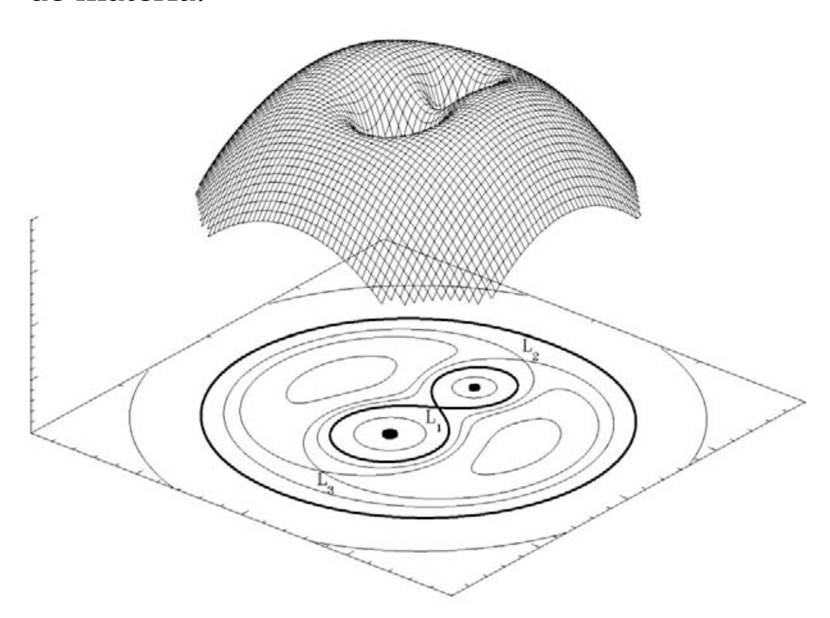
M.CS. EDGAR SANTAMARÍA / CUCEI-UDG

En la actualidad se conoce con bastante detalle la evolución de las estrellas, la cual comienza a partir de grandes nubes de gas que eventualmente colapsan bajo la fuerza de su propia gravedad e influencias externas. En este proceso de colapso se pueden formar regiones o núcleos densos los cuales posteriormente se convertirán en estrellas.

Son muchos los estudios que sugieren que un elevado porcentaje de estrellas se forman y evolucionan en sistemas binarios o múltiples. Estas investigaciones generalmente concluyen que ~50% de las estrellas observadas se encuentran en sistemas binarios. De todas las estrellas en las cercanías del Sol, hasta 5 pc de distancia, casi un 60% pertenecen a un sistema doble, y hasta una distancia de 25 pc, 44% son binarias. Obviamente, cuanto más distante está una estrella doble, por la imposibilidad de resolver el sistema. Estos sistemas pueden consistir de cualquier combinación de varios objetos estelares (e. g. estrellas azules orbitando estrellas rojas, estrellas de poca masa que orbitan estrellas muy masivas, estrellas rojas en torno a estrellas de neutrones). Muchas de las estrellas binarias en algún momento de su evolución intercambian grandes cantidades de masa y energía, formando entonces lo que se denomina "binarias interactivas". Ese intercambio de masa entre las componentes estelares que forman un sistema binario modifica completamente la evolución de las estrellas respecto a la que seguirían como estrellas aisladas y da lugar a fenómenos nuevos, como el proceso de acreción de materia.

LÓBULOS DE ROCHE, CONFIGURACIÓN Y TRANSFERENCIA DE MASA

El lóbulo de Roche es la región alrededor de una estrella en un sistema binario dentro del cual el material en órbita está gravitacionalmente ligado a esa estrella. Para entender la forma en que interactúan dos cuerpos se desarrolló un sistema, el cual consiste en un conjunto de cinco puntos conocidos también como puntos Lagrangianos.



Representación tridimensional del potencial de Roche en una estrella binaria. Las figuras en forma de gota son los lóbulos de Roche de cada una de las estrellas. L1, L2 y L3 son los puntos de Lagrange donde las fuerzas gravitatorias se cancelan entre sí.

Cerca de cada estrella, las superficies con intensidad gravitacional similar son casi esféricas y concéntricas con la estrella más cercana. Lejos del sistema estelar, éstas son aproximadamente de forma elíptica, alargadas y paralelas al eje que une los centros estelares. Existe una región crítica en el punto L_1 donde se da el flujo de material de una estrella a su compañera, ya que es el único punto donde se tocan los dos lóbulos de Roche.

Por la separación entre componentes, los sistemas binarios estelares se clasifican de la siguiente manera: binarias separadas, semiseparadas y en contacto. En el primer caso, es un sistema "no-interactivo" ya que ningún componente llena su lóbulo de Roche y por lo tanto, no existe transferencia de masa en el sistema. Cada componente evolucionará de manera independiente. Sin embargo, en un determinado momento de su evolución podrían intercambiar materia dependiendo de la relación de masas y distancia de las componentes, pasando a ser binarias semiseparadas o de contacto.

En un sistema semiseparado, si una estrella se expande lo suficiente, el material en su atmósfera puede escapar a través del punto de Lagrange L_1 y ser atraído hacia su compañera estelar. La transferencia de masa domina la evolución del sistema. En muchos casos, este flujo de material forma un disco de acreción alrededor de una componente del sistema binario.

En el último caso, ambas componentes llenan sus respectivos lóbulos de Roche. La parte superior de sus atmósferas estelares forma una envoltura en común que rodea ambas estrellas. Como la fricción de la envoltura rompe el movimiento orbital, las estrellas podrían eventualmente fusionarse. Se dice que se trata de binarias interactivas, que en general son detectadas por sus variaciones de brillo.

Cuando la superficie de una estrella se extiende más allá de su lóbulo de Roche, el material que se encuentra fuera puede precipitarse en el lóbulo de Roche del otro objeto a través del primer punto de Lagrange L_1. Con lo anterior se da el escenario ideal para la formación de discos de acreción y transferencia de masa en un sistema binario.

VARIABLES CATACLÍSMICAS

Algunos casos muy notorios de sistemas binarios estelares son denominados Variables Cataclísmicas (VC). Sus interacciones conducen a fenómenos observables que incluyen erupciones y destellos debidos a distintos procesos físicos. Las VCs son una clase de estrellas binarias compuestas de una estrella enana blanca (EB) y una estrella secundaria de secuencia principal (regularmente una estrella enana roja de tipo espectral K-M y de menor masa que el Sol). La masa de la estrella primaria es en promedio de 0.86 $M_\odot$ que es mayor que el promedio en enanas blancas aisladas, las cuales presentan 0.58 $M_\odot$.

Se caracterizan por intervalos largos de baja o nula actividad, interrumpidos por estallidos en donde la luminosidad del sistema se incrementa. Un aspecto muy importante es la separación entre las estrellas, la cual decrece de ~100 $R_\odot$ a ~1 $R_\odot$ o menos en tan solo 1000 años. En la gran mayoría de las VCs conocidas, el material orbita alrededor de una EB formando un disco antes de ser acretado e incorporado a la estrella.

Entre los muchos fenómenos que se observan en estos sistemas, los más dramáticos son los estallidos que dan lugar a objetos estelares como las novas. Las novas son el resultado de la interacción de estrellas en sistemas binarios, donde una estrella enana blanca acreta material de una compañera estelar más masiva. Cuando el material acretado alcanza un valor límite, se produce una explosión termonuclear en la superficie de la estrella que eyecta material altamente procesado al medio interestelar (MIE). Este escenario es el que produce un evento de nova.

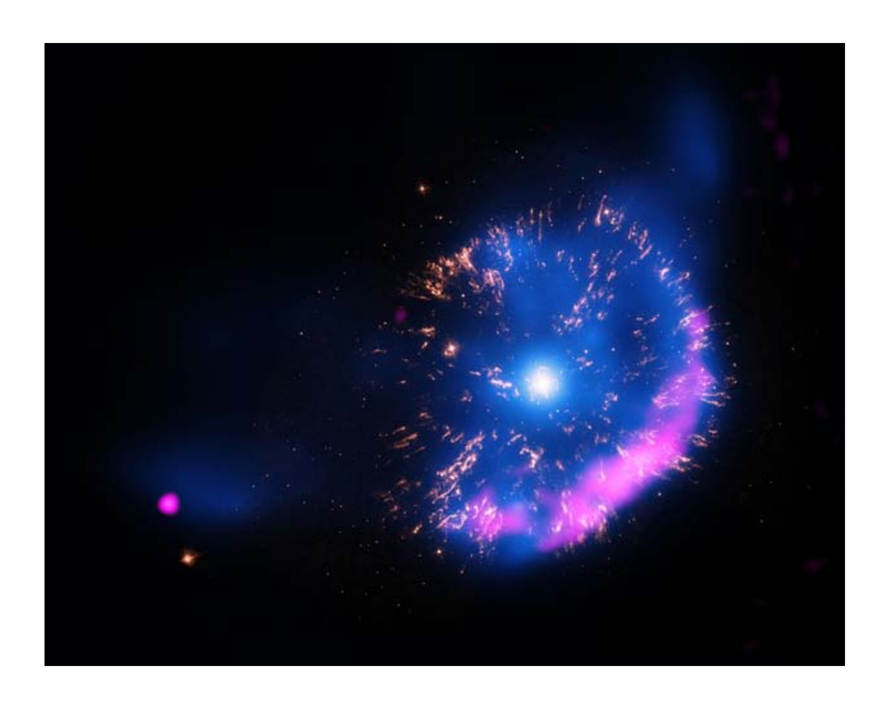
El mecanismo en un evento de nova libera grandes cantidades de energía en el rango de ~10^{38}-10^{40} erg y una masa eyectada de 10^{-5}-10^{-4} $M_\odot$, las cuales alcanzan velocidades mayores a 1000 km s^{-1}. Las novas se caracterizan por un incremento súbito en su brillo. El pico de luminosidad es muy rápido, de unos pocos días y en su máximo pueden alcanzar hasta 10^5 $L_\odot$.

Aquellos sistemas que han tenido un solo estallido de nova registrado se denominan novas clásicas (NC), mientras que los sistemas en los cuales se han registrado un mayor número de estallidos con períodos de recurrencia de 1-100 años reciben el nombre de novas recurrentes (NR). Estas últimas son generalmente ópticamente más débiles. Se cree que todas las novas clásicas son recurrentes, pero con períodos de eyección más largos (10^3 - 10^5 años).

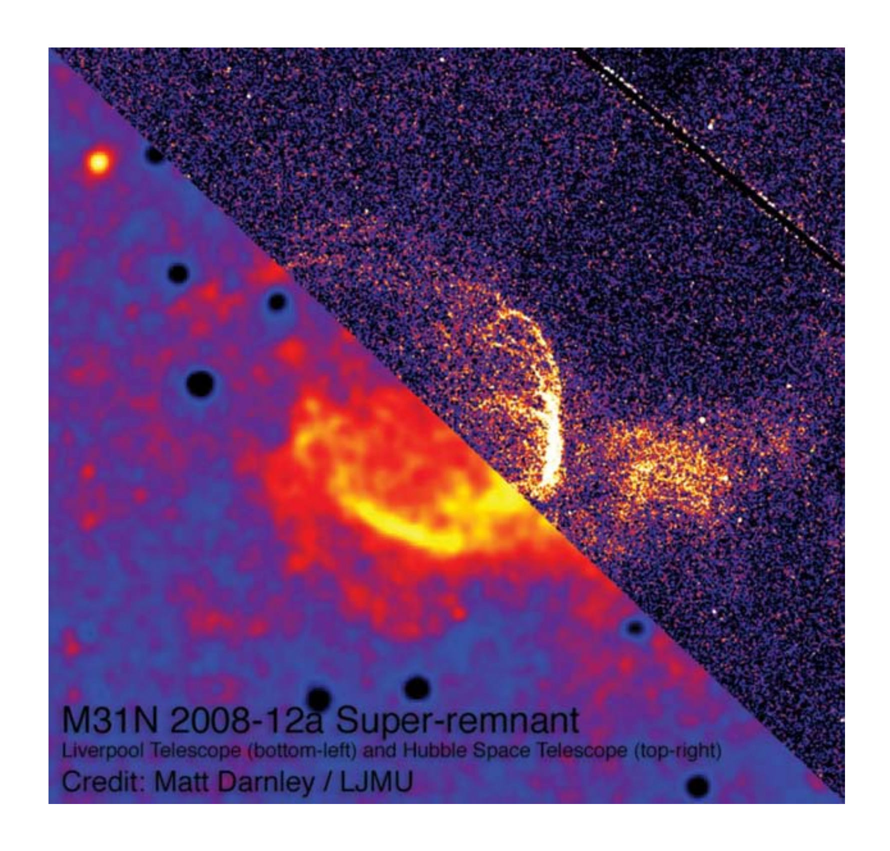
Los estallidos en NC y NR son el resultado de la fusión y detonación de hidrógeno y helio acretado en la superficie de la EB y son los sistemas progenitores más probables de supernovas (SN) Tipo Ia, ya que cuanto mayor es la masa de la EB, más frecuentes son las erupciones de las novas.

Existen casos excepcionales como la nova recurrente M31N 2008-12a, la cual ha sido reportada con eyecciones de masa con periodicidad en torno a un año. Está rodeada por un remanente de un tamaño de al menos 134x90 pc, más grande que casi todos los restos conocidos de explosiones de SN. De esta manera, el MIE está siendo enriquecido de forma continua con elementos pesados. La energía y material procesado creados en SN y novas marcan la evolución química de las galaxias y establecen el escenario para la formación de la siguiente generación de estrellas. Es imprescindible y de suma importancia entender estos procesos para comprender la evolución de las galaxias.

Después del estallido se integran gradualmente al MIE, lo que origina un enriquecimiento del entorno y parte fundamental en la formación de la siguiente generación de estrellas. Al tener éstas un tiempo de vida corto, nos permite estudiar su evolución dinámica completa en escalas de tiempo comparables al de la vida humana.



GK Persei: Nova 1901. Esta imagen de GK Persei es una combinación de rayos X (Chandra, azul), datos ópticos (telescopio espacial Hubble, amarillo) y datos de radio (Very Large Array de la National Science Foundation, rosa). Los datos de rayos X muestran gas caliente mientras que los de radio emisiones de electrones que han sido acelerados a altas energías por la onda de choque. La contraparte óptica revela grupos de material que fueron expulsados en la explosión.



Composición de imágenes obtenidas con el Telescopio Liverpool (abajo a la izquierda) y con el Telescopio Espacial Hubble (arriba a la derecha). El remanente de la nova **M31N 2008–12a** está situado en el centro de la imagen.

ESTRELLAS WOLF-RAYET

M.CS. GABRIEL RUBIO / CUCEI-UDG

Al día de hoy tenemos un entendimiento bastante claro acerca de la evolución estelar, desde cuáles son las condiciones para que una estrella se forme a partir de una nube molecular hasta los distintos desenlaces que las estrellas pueden tener, todo esto dependiendo de la masa de la estrella. Se dice que una estrella está en secuencia principal (alrededor del 90% de su tiempo de vida) cuando se encuentra en equilibrio: la presión de la radiación generada por los procesos termonucleares en su núcleo es balanceada por la fuerza de gravedad que actúa hacia el interior. Una vez que la estrella sale de secuencia principal la inestabilidad se apodera de la estrella y fenómenos interesantes comienzan a suceder. Si la masa de una estrella tipo O es mayor a 20 masas solares probablemente termine su vida como explosión de supernova, pero antes de llegar al estallido final la estrella se convertirá en super gigante roja (SGR) o variable luminosa azul (VLA) y posteriormente en una estrella Wolf-Rayet (WR). Esta clase de estrellas fueron descubiertas en 1867 por los astrónomos Charles Wolf y George Rayet cuando observaban con su telescopio de 40 cm en París. Una de las tres estrellas observadas por Wolf y Rayet fue WR 134, en la constelación del Cisne, se muestra en la imagen.



WR 134 en filtros (Ha/OIII/SII), Créditos: Chuck Ayoub.

ALGUNAS DE SUS CARACTERÍSTICAS

Todo la información que podemos obtener de una estrella proviene de la luz que esta emite: su composición química, velocidad, masa, temperatura, etc. Cuando se hace pasar un rayo de luz proveniente de una estrella a través de un prisma esta se descompone en un espectro de colores, así como se forma un arcoíris cuando los rayos del Sol pasan por las gotas de agua. Si miramos con detalle distintos espectros podríamos observar que no es continuo, sino que presenta algunas líneas oscurecidas y en algunas otras ocasiones vemos lo opuesto: líneas brillantes sobre un fondo oscuro. Hoy sabemos que esas líneas brillantes y oscuras se forman por gases que emiten o absorben la luz, respectivamente. Al comparar los espectros provenientes de las estrellas con los espectros de lámparas en laboratorios podemos conocer con precisión cuales elementos están presentes en las estrellas y no solamente eso, también podemos estimar en qué proporciones se encuentran. Al estudiar el espectro de las estrellas descubiertas por Wolf y Rayet se observó que las líneas espectrales estaban ensanchadas, como si la emisión estuviera alejándose y acercándose hacia nosotros al mismo tiempo. Este efecto, conocido como ensanchamiento Doppler, es la evidencia observacional de que la estrella WR se encuentra rodeada de una envoltura de gas en expansión. Además, otro efecto interesante en las líneas espectrales sirvió de evidencia para la existencia de potentes vientos provenientes de la estrella.

Cuando la estrella expulsa material en todas direcciones habrá material que se acerque hacia nosotros y otro que se aleje (azul y rojo en la imagen, respectivamente), de ahí que estén presentes dos componentes de emisión. Por otro lado, el material que se acerca hacia nosotros absorberá parte de la radiación emitida, de ahí que el espectro resultante esté compuesto de emisión y absorción.

Esta característica en las líneas espectrales es conocida como *perfil P-Cygni* y es propio de estrellas que muestran eyección de material a través de fuertes vientos, como las WR. Entonces las estrellas WR se caracterizan por presentar fuertes vientos en su atmósfera que van moldeando el medio que las rodea, además de carecer de hidrógeno puesto que ha sido expulsado de sus capas más externas.

La temperatura en la superficie de una estrella de este tipo va de los 25,000 a los 100,000 °C mientras que el rango de masas de una estrella WR es muy variado, existen estrellas con masas del orden de 7 masas solares hasta aquellas que tienen 70 veces la masa de nuestro Sol.

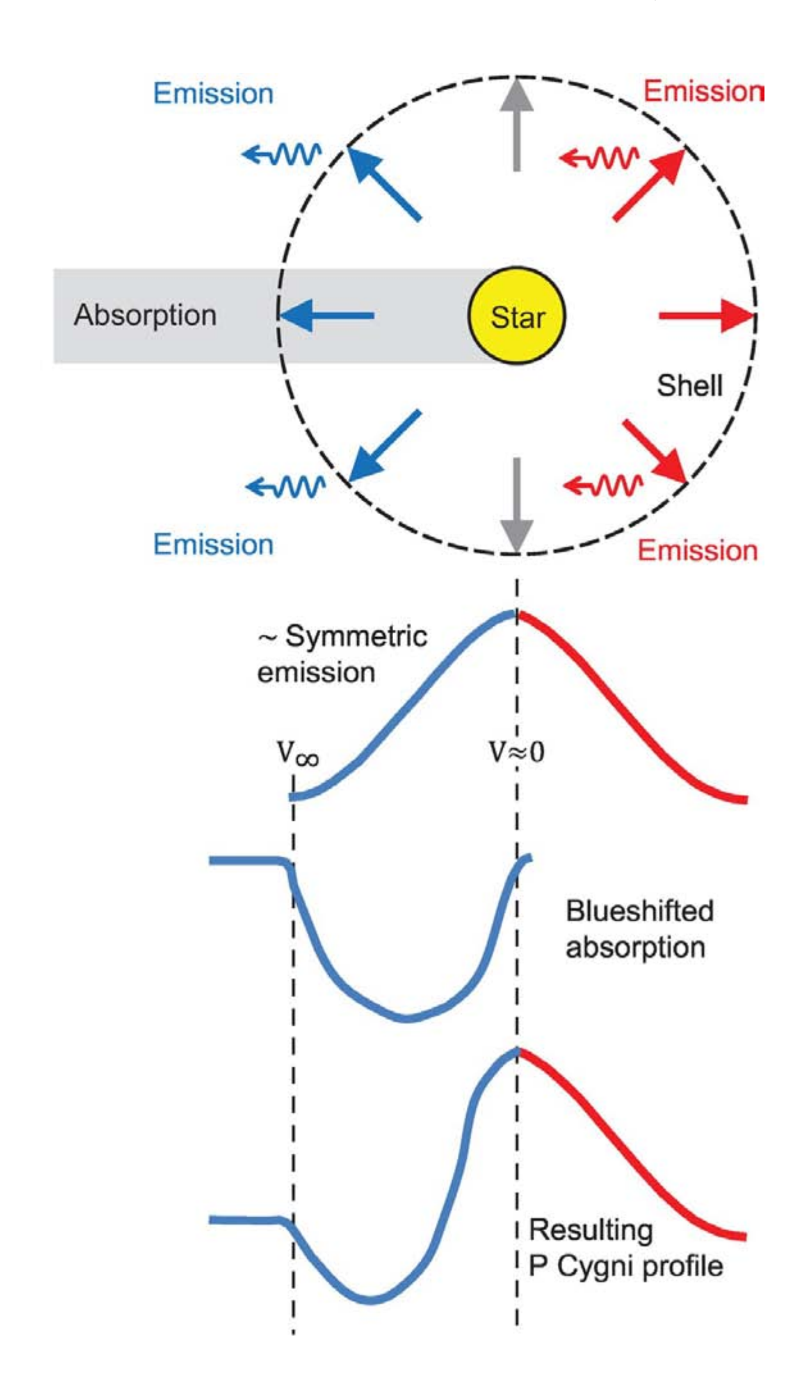
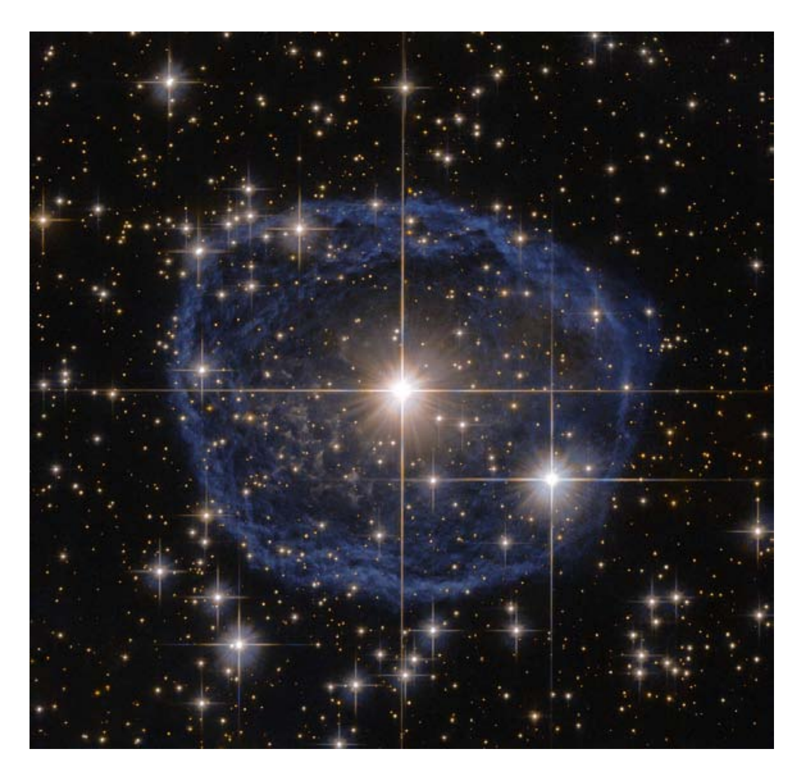


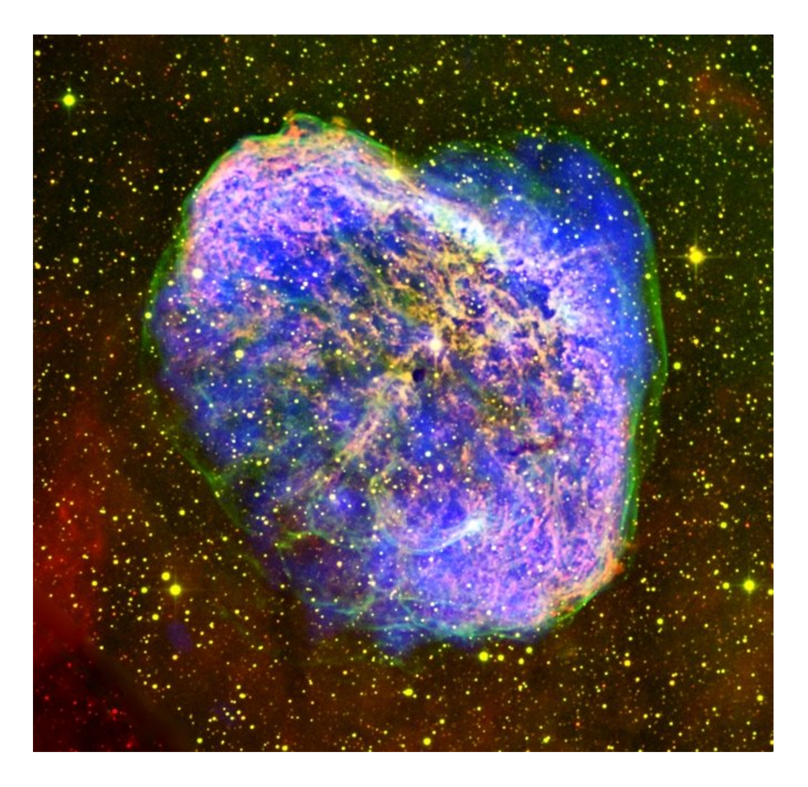
Figura representativa de los procesos de absorción y emisión de fotones provenientes de una fuente puntual.

Las estrellas WR se clasifican de acuerdo a la presencia de diferentes elementos en su espectro electromagnético: WN si la emisión en su espectro está dominado por líneas de helio y nitrógeno, WC si está dominado por helio y carbono o WO si presentan oxígeno. En general, la vida de una estrella masiva es muy corta comparada con una estrella típica como nuestro Sol, que puede llegar a vivir unos 10,000 millones años mientras que la fase WR dura "apenas" unos cientos de miles de años ,de ahí que sea muy raro observarlas: tan solo se conocen unas 200 estrellas WR en nuestra Galaxia pero se estima que puede haber hasta 2,000 objetos de este tipo que no son observados directamente ya que se encuentran obscurecidas por polvo.
A pesar de la duración tan corta de esta fase, este tiempo es suficiente para que los vientos estelares extremadamente violentos con velocidades de alrededor de 2,000 km/s presentes en la estrella WR alcancen al viento previamente eyectado en la fase SGR o VLA y se formen las impresionantes nebulosas que son calentadas por el núcleo descubierto de la estrella, haciendo que el gas expelido sea capaz de emitir luz que posteriormente es posible de detectar con nuestros telescopios. En la imagen capturada por el telescopio espacial Hubble, la estrella WR 31a en la constelación de Carina posee una nebulosa en expansión de unos 8 años luz de diámetro, formada por gas ionizado. Un claro ejemplo de cómo los fuertes vientos actúan sobre el medio.
El choque entre los distintos vientos puede ser tan energético que algunas nebulosas WR presentan emisión de rayos X debido a la presencia de gas caliente del orden millones de grados Celsius.
En la figura se observa a la estrella WR 136 (WN-6) con su impresionante nebulosa NGC 6888 de unos 20 años luz de diámetro.
La imagen muestra, en color azul la emisión en rayos X debido a la presencia de gas contenido en una burbuja caliente, envuelta en una capa delgada de oxígeno ionizado (verde).

Además de poseer nebulosas espectaculares, las estrellas WR son relevantes en la astrofísica ya que al proceder de estrellas masivas son las responsables de nutrir al medio interestelar de materiales pesados que posteriormente son reutilizados para la formación de nuevas estrellas. Por otra parte, las nebulosas WR son el registro del pasado evolutivo de la estrella central ya que contiene los elementos que alguna vez fueron procesados por la estrella; estudiarlas nos permite restringir los modelos de evolución estelar.



WR 31a ESA/Hubble & NASA. Créditos: Judy Schmidt.



WR 136 y su nebulosa **NGC 6888**, composición de imágenes en Ha, [OIII] y rayos X. Créditos: Toalá et al. (2015).

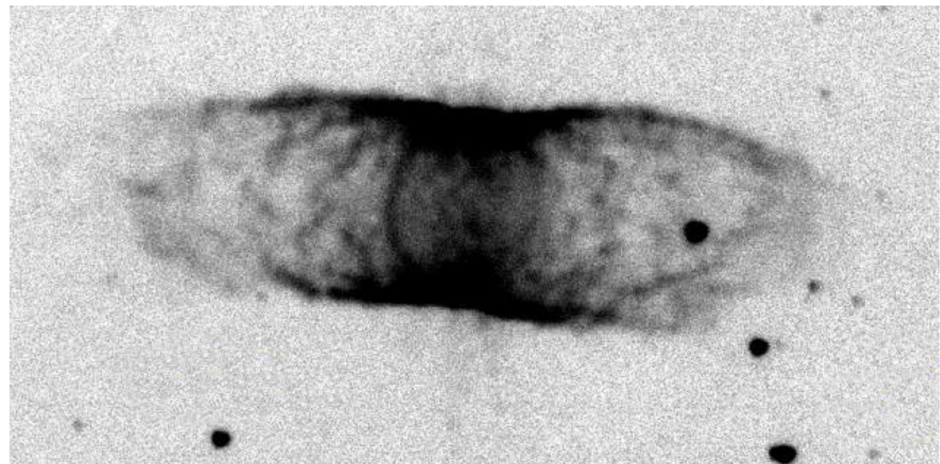
HIDRÓGENO MOLECULAR EN NEBULOSAS PLANETARIAS

DR. GERARDO RAMOS / IAM-UDG

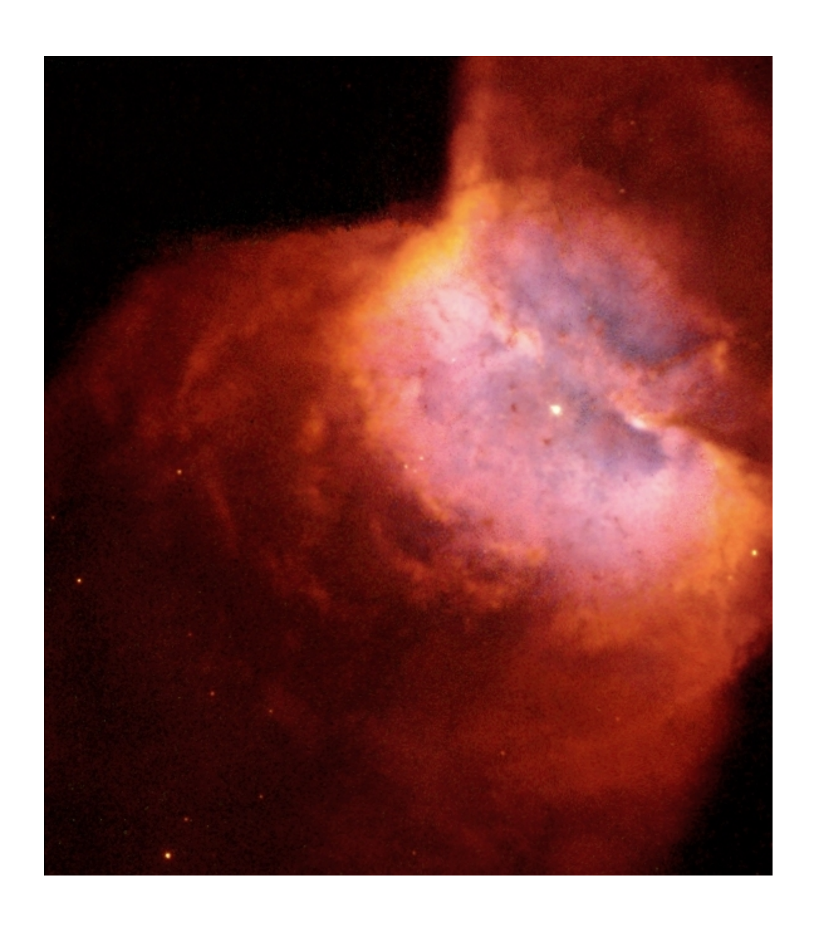
Las nebulosas planetarias (NPs), consideradas de los objetos más bellos del cielo, representan en realidad la etapa en las que puede terminar la vida de estrellas cuya masa es similar o mayor a la de nuestro Sol, y están formadas principalmente por una pequeña estrella central que es muy densa y caliente y que es rodeada por una envoltura gaseosa y de polvo. Este material se encuentra ionizado por la intensa radiación ultravioleta que procede de su estrella central, que en realidad es el remanente o núcleo de una estrella parecida a nuestro Sol y que ha quemado su combustible nuclear. Al estar formadas ahora principalmente por materiales como helio, carbono y elementos más pesados, ya no tienen lugar las reacciones termonucleares necesarias para producir energía. Éstas son en realidad los precursores de las estrellas conocidas como enanas blancas, que son muy densas e intrínsecamente débiles y con tamaños no mayores a nuestro planeta Tierra. La densidad puede ser tan alta, que una sola cucharada de su material pesa algunas toneladas.



Nebulosa Planetaria IC 4406 en banda óptica en los filtros estrechos de [OIII], H y [NII] (HST).



Nebulosa Planetaria IC 4406 en banda infrarroja con filtro estrecho de hidrógeno molecular (H_2) (CFHT).



Nebulosa Planetaria NGC 2346 en banda óptica en los filtros estrechos de [OIII], H y [NII] (HST).



Nebulosa Planetaria NGC 2346 en banda infrarroja con filtro estrecho de hidrógeno molecular (H_2) (GEMINI).

Cuando sus envolturas externas continúan expandiéndose (en solo algunos miles de años) a través de fuertes vientos, se disiparán, diluyéndose en el medio interestelar (MI) y dejando al descubierto su estrella central. Se estima que el total de todas las NPs en nuestra Galaxia regresan en su conjunto, un promedio de 5 veces la masa de nuestro Sol al medio interestelar cada año, convirtiéndose en el material que formará una nueva generación de estrellas. Debido a su significante contribución estos objetos juegan un papel fundamental en la evolución química de toda la Galaxia.

Tienen un ambiente físico complejo, con un rango de temperaturas que puede ir desde los 10^2 K procedente de la región molecular y de polvo, 10^4 K de las regiones ionizadas, hasta 10^6 K, por lo que son observables a través del espectro electromagnético, desde longitudes de onda de radio hasta los rayos X y muchas de ellas presentan formas esféricas que tienen distintas apariencias creadas por la forma simétrica en que los gases fueron expulsados. En otros casos, la tasa de expansión no es la misma en todas direcciones, resultando en nebulosas que tienen formas bipolares o irregulares, como de un reloj de arena o una mariposa.

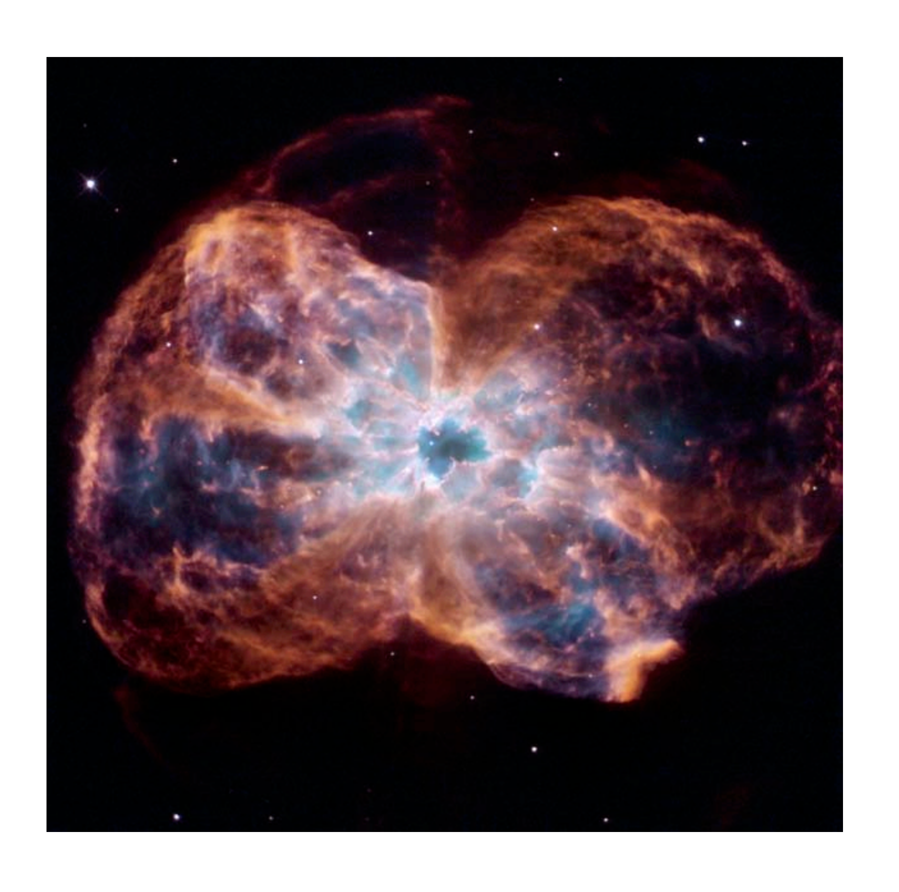
Las NPs se observan habitualmente en las líneas de emisión del óptico, donde se revela la distribución y las propiedades físicas del material ionizado; pero estas observaciones son insensibles al polvo y gas molecular que son los remanentes de su fase de formación temprana. Las observaciones en el infrarrojo (IR) permiten detectar estas componentes y determinar así su extensión total y geometría externa.

Por otro lado, sus envolventes viejas y evolucionadas son un sitio activo para la producción de moléculas. Es en estas regiones donde es posible estudiar y comprender la transición de materiales estelares a materiales interestelares.

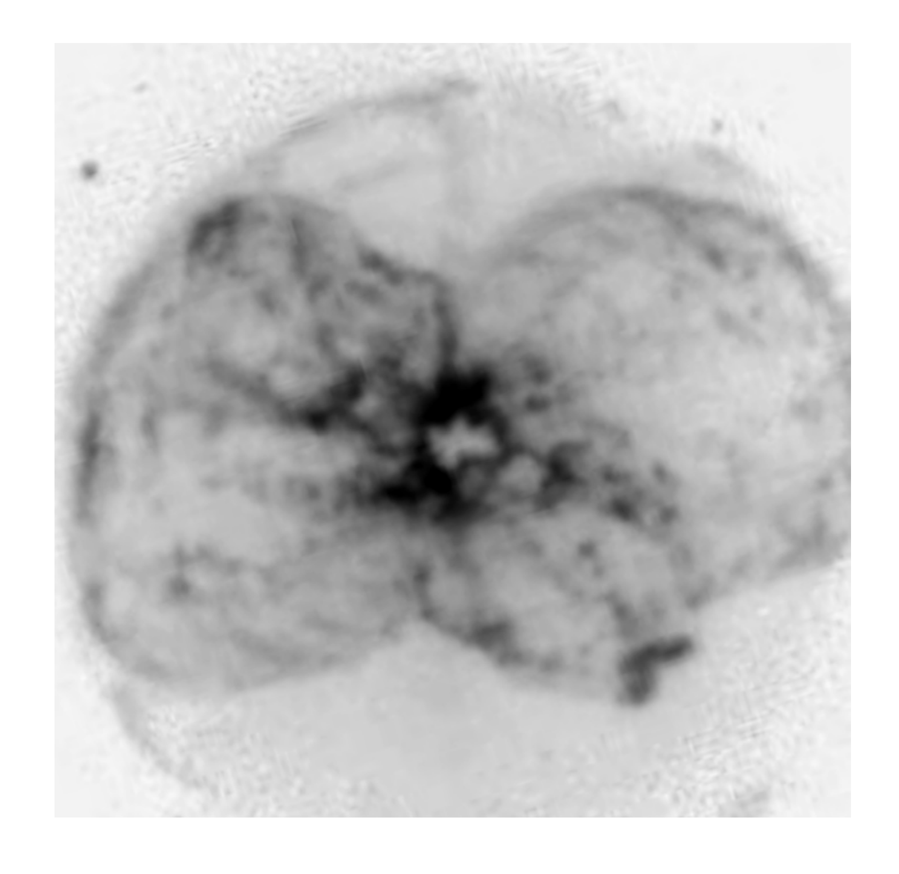
Se cree que las moléculas en forma gaseosa que se sintetizan ahí son en realidad los precursores de compuestos orgánicos complejos. Los recientes descubrimientos de moléculas grandes (C60) sugieren que las moléculas pueden sobrevivir en NPs y enriquecer el MI.

Entre las moléculas que es posible observar en el rango de frecuencias del IR se encuentra la transición molecular del hidrógeno, en específico, la línea de emisión H_2 1-0 S(1), que irradia a 2.122 μm, siendo una de las más comunes de encontrar en NPs. La mayoría de las moléculas detectadas en el medio interestelar pueden explicarse mediante las reacciones ion−molécula, sin embargo, la formación de la molécula de H_2 (la más abundante) no es posible explicarla por este mecanismo. Sucede que no es posible formar la molécula de hidrógeno por simple contacto de 2 átomos de hidrógeno en estado gaseoso, ya que el exceso de energía no puede radiarse en forma de un fotón. Las moléculas formadas pueden ser convertidas en átomos mediante la absorción de fotones en el proceso de fotodisociación. La molécula de hidrógeno se forma primordialmente en el medio interestelar por reacciones en la superficie de granos de polvo, siendo el polvo una especie de catalizador que absorbe el exceso de energía que es liberado al momento de formarse la nuevas moléculas de H_2 [$H_{(gas)}$ + $H_{(gas)}$ + grano → $H_{2(gas)}$ + grano].

Por lo tanto, un átomo de hidrógeno puede chocar con un grano de polvo y quedar adherido a su superficie y una vez ahí, el átomo espera la llegada de otro, lo que hace más probable el encuentro que si éste ocurriera por un simple choque en estado gaseoso, para que los dos puedan reaccionar en la superficie del grano y formen así la molécula. El exceso de energía que es producido en la reacción remueve la molécula recién formada de la superficie del grano, pasándola al estado gaseoso.



Nebulosa Planetaria NGC 2440 en banda óptica en los filtros estrechos de He, [OIII], H y [NII] (HST).



Nebulosa Planetaria NGC 2440 en banda infrarroja con filtro estrecho de hidrógeno molecular (H_2) (CFHT).

Se han encontrado una multitud de especies moleculares en el medio interestelar. El grado de complejidad de estas moléculas va desde simples (diatómicas), hasta muy complejas (compuestas de varios átomos); siendo en su mayoría orgánicas, donde las moléculas de H_2 y CO (monóxido de carbono) son de las más importantes.

Desde las primeras observaciones IR de NPs se ha notado que la emisión de H_2 tiene una mayor tasa de ocurrencia entre las NPs de forma bipolar. Como tal, exhiben envolventes más grandes, con regiones ecuatoriales densas y grumos compactos de material que actúan como escudo contra la fuerte radiación ultravioleta (UV) de sus estrellas centrales, evitando la disociación de estas moléculas.

Sin embargo, el aumento en la sensibilidad de las más recientes observaciones en el IR han revelado la presencia de hidrógeno molecular en NPs con una gran variedad de morfologías.

El rango de longitud de onda entre 1 y 10 μm es especialmente relevante porque incluye una gran cantidad de transiciones de hidrógeno molecular. En particular, los cocientes de intensidad de algunas de estas líneas (p.ej. 2–1 S (1) λ2.2477 / 1–0 S (1) λ2.1218) puede usarse para inferir el mecanismo de excitación molecular (choques o radiación UV). La importancia del H_2 en NPs deriva en parte del hecho que el gas molecular puede dominar la masa de las envolventes de NPs jóvenes. Además, de las numerosas líneas transicionales de H_2 es posible obtener medidas de la densidad, temperatura, contenido de polvo y mecanismo de excitación del gas molecular; así como obtener pistas del actual proceso de su formación. De tal manera que los estudios más recientes realizados en nebulosas planetarias sobre material molecular en longitudes de onda de radio e infrarrojo producirán nueva información importante sobre sus orígenes, estructuras y evolución.

¿POR QUÉ ENTONCES ESTOS OBJETOS SON LLAMADOS NEBULOSAS PLANETARIAS?

Hace ya casi 200 años, que el astrónomo inglés Sir William Herschel les llamó nebulosas planetarias ya que su forma e incluso su color asemejaba al de los planetas, al ser observadas al telescopio en esa época. El ligero y tenue tinte verde y la forma redonda le recordaban su más reciente descubrimiento (el planeta Urano). Desafortunada o afortunadamente, este nombre nunca se cambió, aunque estos objetos no tienen en realidad alguna relación con los planetas.



Nebulosa Planetaria NGC 6543 (HST).

NEBULOSAS PLANETARIAS "NACIDAS DE NUEVO"

DR. JESÚS TOALÁ / IRYA-UNAM

Los actores principales en dar forma y calentar el medio interestelar en las galaxias son las estrellas. Dependiendo de su etapa evolutiva, presentan fuertes vientos que barren y comprimen el medio de donde se formaron. Los vientos estelares se definen como masa que es expulsada de la estrella con cierta velocidad. Por ejemplo, nuestro Sol tiene un viento relativamente tenue (comparado con otras estrellas) que al llegar a la tierra interactúa principalmente con la magnetósfera creando las llamadas auroras boreales.

Pero las estrellas cambian sus parámetros físicos durante sus vidas, dependiendo de su estructura interna. Éstas comienzan su vida quemando hidrógeno en helio. Este proceso de fusión nuclear, que se lleva a cabo en los interiores estelares, libera la energía que calienta y hace brillar a las estrellas. Dicha etapa domina casi todas la vida de las estrellas, equivalente a alrededor del 90% del total de sus vidas. Pero lo interesante comienza cuando el hidrógeno en el núcleo se agota. Después de varios procesos en donde la estructura interna de la estrella se reacomoda para compensar la falta de producción de energía, esta se expande y se enfría, convirtiéndola en una gigante roja.

Durante la etapa de gigante roja la estrella pierde casi toda su masa debido a que presenta un viento muy denso pero lento (de alrededor de unos 20 km/s). Este proceso hace que la estrella se despoje de sus capas externas, dejando un núcleo caliente cuyo destino será convertirse en una enana blanca. Durante esta etapa, las capas externas de la estrella se calientan y puede alcanzar temperaturas superiores a los 100,000 K. Esta nueva etapa evolutiva activa un viento rápido de hasta 1,000 km/s que interactúa con el material eyectado en la fase anterior. Al mismo tiempo, debido a la creciente temperatura de la estrella, el gas se calienta hasta alcanzar temperaturas de alrededor de 10,000 K. La combinación de estos procesos crean las llamadas nebulosas planetarias, uno de los objetos más llamativos de la Astronomía moderna (ver Figura).





Ejemplos de nebulosas planetarias observadas con el Telescopio Espacial Hubble (Hubble Space Telescope) de la NASA. De izquierda a derecha tenemos a **NGC 6543** (la Nebulosa del Ojo de Gato), **IC418** (la Nebulosa del Espirógrafo) y **NGC 6302** (Nebulosa de la Mariposa). Los colores corresponden a la emisión de diferentes elementos químicos. Por ejemplo, clásicamente se elige el azul para representar al oxígeno dos veces ionizado y el rojo para el nitrógeno una vez ionizado.

¿POR QUÉ "NACIDAS DE NUEVO"?

Se estima que en un tiempo astronómico relativamente corto de unos 10 mil años, una nebulosa planetaria desaparezca mezclándose con el material del medio interestelar. Ésta es la manera en que las estrellas enriquecen la Galaxia con material procesado dentro de los interiores estelares. En algunos casos específicos cuando la estrella ya es vieja y se encuentra en la fase de enana blanca puede tener una eyección de material dentro de la nebulosa planetaria vieja. Esto ocurre cuando la capa externa de la enana blanca, que está formada principalmente de helio alcanza las condiciones de presión y temperatura para fusionarse en carbono y oxígeno. A este evento explosivo se le denomina último pulso térmico. Se cree que justo antes de esta pequeña explosión, la estrella reduce dramáticamente su temperatura hasta algunos 3000 K convirtiéndose por segunda vez en su vida en una estrella roja. Después del pulso térmico la estrella vuelve a calentarse expulsando material rico en carbono y oxígeno, en un sentido, naciendo de nuevo. Los modelos más actuales de evolución estelar predicen que este proceso es muy corto y puede durar entre 20 y 100 años.

La primer nebulosa nacida de nuevo se descubrió por el astrónomo amateur japonés Yukio Sakurai y fue reportada por la Unión Astronómica Internacional a principios de 1996. Sakurai conocía bien el cielo y notó como una estrella cambiaba su color de azul a rojo, sugiriendo que la estrella disminuía su temperatura dramáticamente. Estudios observacionales subsecuentes mostraron como la estrella central de esta nebulosa planetaria (ahora conocida como el Objeto Sakurai) parecía producir una cantidad significativa de polvo rico en carbono. Hoy en día sabemos que después del pulso térmico, éstas estrellas desarrollan un nuevo viento rápido de más de 3,000 km/s que barre, comprime y calienta el polvo alrededor de la estrella. Como resultado, tenemos que una nueva nebulosa aparece dentro de la nebulosa planetaria vieja. En la siguiente figura se muestra el caso de la nebulosa planetaria Abell 78. Se puede apreciar la nebulosa planetaria vieja con una morfología casi esférica (redonda) mientras que el material resultante del pulso térmico se puede ver en forma de grumos alrededor de la estrella central.



Imagen de la nebulosa planetaria Nacida de Nuevo Abell 78. Los colores rojo y verde muestran la emisión óptica de helio y oxígeno respectivamente tomadas con el Telescopio Nórdico Óptico (Nordic Optical Telescope) en La Palma, España. En azul se presenta la emisión de rayos X detectada con el satélite XMM-Newton de la Agencia Espacial Europea. Crédito: J.A. Toalá (IRyA-UNAM).

Es importante señalar que el número de nebulosas planetarias nacidas de nuevo descubiertas hasta hoy en día es menos de 10 (Abell 30, Abell58, Abel 78, HuBi 1, NGC 40, NGC 5189 y el Objeto Sakurai). Un número muy pequeño en comparación con las más de 3 mil de nebulosas planetarias reportadas en nuestra Galaxia. Este hecho confirma que el proceso es corto y que solo ocurre bajo ciertas condiciones.

En el IRyA-UNAM, formamos parte de un grupo internacional de astrónomos que incluye investigadores y estudiantes de doctorado de la Universidad de Guadalajara, en un proyecto de búsqueda y caracterización de nebulosas planetarias nacidas de nuevo. Este específico eslabón en las etapas finales de la evolución de estrellas como el Sol nos puede ayudar a estudiar la formación y destrucción de polvo rico en carbono en condiciones muy específicas, así como el estudio de procesos hidrodinámicos complejos en escalas de tiempo humanas. Nuestro trabajo incluye el análisis de observaciones ópticas, infrarrojas y de rayos X, así como el desarrollo de simulaciones numéricas que reproduzcan las propiedades de las nebulosas planetarias nacidas de nuevo.



Júpiter

Imagen, credito y licencia: NASA/JPL-Caltech/SwRI/MSSS; Procesado: Kevin M. Gill

Algunos patrones de nubes en **Júpiter** son bastante complejos. Las nubes presentadas fueron capturadas por la nave espacial robótica Juno de la NASA que actualmente orbita el planeta más grande de nuestro Sistema Solar. La imagen fue tomada cuando Juno estaba a solo 15,000 kilómetros sobre las nubes de Júpiter. Las ásperas nubes blancas en el extremo derecho son nubes de gran altitud conocidas como nubes emergentes. La misión de Juno, ahora extendida hasta 2021, es estudiar a Júpiter de nuevas formas. Entre muchas otras cosas, Juno ha estado midiendo el campo gravitacional de Júpiter, encontrando evidencia sorprendente de que Júpiter puede ser principalmente un líquido.



Galaxies in the River

Imagen, credito y licencia: Star Shadows Remote Observatory, PROMPT, CTIO

Las grandes galaxias crecen fusionándose con galaxias pequeñas. Incluso nuestra propia galaxia se involucra en una especie de canibalismo galáctico, absorbiendo pequeñas galaxias que están demasiado cerca y son capturadas por la gravedad de la Vía Láctea. De hecho, la práctica es común en el universo e ilustrada por este sorprendente par de galaxias que interactúan desde las orillas de la constelación meridional Eridanus, **The River**. Ubicada a más de 50 millones de años luz de distancia, la gran espiral distorsionada NGC 1532 se ve encerrada en una lucha gravitacional con la galaxia enana NGC 1531 (derecha del centro), una lucha que la galaxia más pequeña eventualmente perderá. Visto de borde, la espiral NGC 1532 se extiende por alrededor de 100,000 años luz.



Cosmic Clouds in the Unicorn

Imagen, credito y licencia: Bray Falls

Las nubes interestelares de hidrógeno y polvo abundan en el firmamento. El amplio campo de visión de 3 grados se extiende a través de la constelación de Monoceros, el Unicornio. Una región de formación estelar catalogada como NGC 2264, una mezcla compleja de gas cósmico, polvo y estrellas a unos 2.700 años luz de distancia. Mezcla nebulosas de emisión rojizas excitadas por la luz energética de las estrellas recién nacidas con nubes de polvo oscuro. Donde las nubes de polvo oscurecen cerca de estrellas calientes y jóvenes, también reflejan la luz de las estrellas, formando nebulosas de reflejo azul.



Central Centaurus A

Imagen, credito y licencia: NASA, ESA, Hubble Heritage (STScI/ AURA)-ESA/Hubble Collaboration

A solo 11 millones de años luz de distancia, Centaurus A es la galaxia activa más cercana al planeta Tierra. También conocida como NGC 5128, la peculiar galaxia elíptica tiene más de 60,000 años luz de diámetro. Una región que abarca unos 8,500 años luz, incluido el centro de la galaxia (arriba a la izquierda), se enmarca en este agudo primer plano del telescopio espacial Hubble. Centaurus A es aparentemente el resultado de una colisión de dos galaxias normales que resultan en una violenta mezcla de regiones de formación de estrellas, cúmulos de estrellas masivas e imponentes caminos de polvo oscuro. Cerca del centro de la galaxia, los restos cósmicos sobrantes están siendo consumidos constantemente por un agujero negro central con aproximadamente 60 millones de veces la masa del Sol. Como en otras galaxias activas, ese proceso probablemente genera emisión de radio, rayos X y rayos gamma irradiada por Centaurus A.



Wolf-Rayet Star 124

Imagen, credito y licencia: Hubble Legacy Archive, NASA, ESA; Procesado: Judy Schmidt

Algunas estrellas explotan en cámara lenta. Las estrellas Wolf-Rayet son tan tumultuosas y calientes que se desintegran lentamente. La estrella Wolf-Rayet WR 124, visible cerca del centro de la imagen presentada que abarca seis años luz de diámetro, está creando la nebulosa circundante conocida como M1-67. Los detalles de por qué esta estrella se ha desmoronado lentamente en los últimos 20,000 años sigue siendo un tema de investigación. El WR 124 se encuentra a 15,000 años luz de distancia hacia la constelación de la Flecha (Sagitta). El destino de cualquier estrella de Wolf-Rayet probablemente depende de cuán masivo sea, pero se cree que muchas terminan sus vidas con explosiones espectaculares como supernovas o explosiones de rayos gamma.



The Horsehead Nebula in Infrared from Hubble

Imagen, credito y licencia: NASA, ESA, and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)

Mientras se desplazaba por el cosmos, una magnífica nube de polvo interestelar se esculpió con vientos estelares y radiación para asumir una forma reconocible. Adecuadamente llamada Nebulosa Cabeza de Caballo, está incrustada en la vasta y compleja Nebulosa de Orión (M42). Un objeto potencialmente gratificante pero difícil de ver personalmente con un pequeño telescopio, la imagen detallada de arriba fue tomada en 2013 con luz infrarroja por el telescopio espacial Hubble en órbita en honor del 23 aniversario del lanzamiento de Hubble. La oscura nube molecular, aproximadamente a 1.500 años luz de distancia, está catalogada como Barnard 33 y se ve arriba principalmente porque está iluminada por la estrella masiva cercana Sigma Orionis. La Nebulosa Cabeza de Caballo cambiará lentamente su forma aparente en los próximos millones de años y eventualmente será destruida emisión estelar de alta energía.